

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE CORRELACION ESPACIAL DE UN SISTEMA MIMO EN UN ENTORNO EXTERIOR-INTERIOR A 2.4 GHz

Richard W. Jaramillo Echeverría
Departamento de Ing. de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
richard.jaramillo@alumnos.unican.es

Rafael P. Torres
Departamento de Ing. De Comunicaciones
Universidad de Cantabria
torresrp@unican.es

Abstract- For a better planning of a MIMO system is necessary a deep knowledge of the propagation channels characteristics and the degree of independence or correlation among them. This work presents the results obtained from the experimental analysis of the spatial correlation of a MIMO system as a function of the separation between receiver elements. The measurements were made at 2.4GHz for wireless applications in ISM band. The results show that the subchannels have a Rayleigh behavior and that the correlation depends on the relative disposition between receiver and transmitter array and on the presence or absence of line of sight. For LOS situations, depending on the receiver and transmitter relative position (in-line, broadside) the correlation distance gets values up to 6λ . Whereas, in NLOS situations the correlation distance is smaller than in LOS case, independently of the relative disposition of the arrays.

I. INTRODUCCIÓN

Numerosas investigaciones sobre sistemas MIMO se encuentra en la literatura, muchas de las cuales han servido para el desarrollo y parametrización de modelos estocásticos para este tipo de canales. De los parámetros considerados por estos modelos, el más difícil de establecer es el referente a la correlación espacial entre los diferentes subcanales, debido a que es función del entorno particular de propagación en el cual se encuentran los arrays localizados.

Este trabajo presenta los resultados de la variación de la correlación espacial que experimenta un sistema MIMO en función de la distancia de separación de los elementos receptores. Se realiza una campaña de medidas del canal de propagación a una frecuencia de 2.4 GHz, para aplicaciones de redes inalámbricas en la banda ISM. El entorno de medida es mixto, exterior-interior entre dos edificios de la Universidad de Cantabria. Se obtienen matrices de correlación que caracterizan el comportamiento del sistema MIMO en este entorno.

II. MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

Sea un sistema MIMO 2×2 , de canales no selectivos en frecuencia tipo Rayleigh, figura 1, donde Δr es la distancia de separación de las antenas receptoras y d la separación de las antenas transmisoras. Cada uno de los subcanales h_{mn} relaciona la antena transmisora n con la antena receptora m .

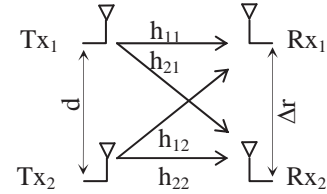


Figura 1. Esquema de un sistema MIMO 2×2 .

Para un vector de señales transmitidas $[s]$, las señales recibidas en las antenas receptoras pueden escribirse como otro vector $[r]$ relacionadas por medio de la matriz H :

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[r] = [H][s] \quad (2)$$

La eficiencia de los sistemas MIMO es máxima cuando los diferentes subcanales están incorrelados entre sí. El grado de independencia entre subcanales está definido por la matriz de correlación R , que para el sistema MIMO 2×2 es:

$$R = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{11} & \rho_{11}^{12} & \rho_{11}^{21} & \rho_{11}^{22} \\ \rho_{12}^{11} & \rho_{12}^{12} & \rho_{12}^{21} & \rho_{12}^{22} \\ \rho_{21}^{11} & \rho_{21}^{12} & \rho_{21}^{21} & \rho_{21}^{22} \\ \rho_{22}^{11} & \rho_{22}^{12} & \rho_{22}^{21} & \rho_{22}^{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ρ_{ij}^{pq} representa el coeficiente de la correlación entre h_{ij} y h_{pq} .

Considerando el comportamiento de los canales como un proceso estacionario en sentido amplio (WSS), la correlación depende únicamente de la distancia de

separación entre las antenas (Δr) [1] y no de su posición, por lo que se puede expresar la matriz de correlación por:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{11}^{12}(\Delta r) & \rho_{11}^{21}(0) & \rho_{11}^{22}(\Delta r) \\ \rho_{12}^{11}(\Delta r) & 1 & \rho_{12}^{21}(-\Delta r) & \rho_{12}^{22}(0) \\ \rho_{21}^{11}(0) & \rho_{21}^{12}(-\Delta r) & 1 & \rho_{21}^{22}(\Delta r) \\ \rho_{22}^{11}(\Delta r) & \rho_{22}^{12}(0) & \rho_{22}^{21}(\Delta r) & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

El coeficiente de correlación viene dado por la siguiente expresión :

$$\rho_{x,y} = \langle x, y \rangle = \frac{E[x \cdot y] - E[x] \cdot E[y]}{\sqrt{(E[x]^2 - |E[x]|^2)(E[y]^2 - |E[y]|^2)}} \quad (5)$$

Donde x , y son las envolventes de la tensión medida, correspondientes a h_{ij} y h_{pq} respectivamente, $E[\cdot]$ es el valor esperado.

III. SISTEMA Y ESCENARIO DE MEDIDAS

El esquema de medida de banda estrecha se basa en la transmisión de un tono de onda continua a una frecuencia de 2.4 GHz e involucra un array de dos antenas transmisoras con una separación $d = 10\lambda$, λ es la longitud de onda, y una única antena receptora que bajo un sistema controlado por ordenador se desplaza en un trayectoria lineal, formando un array virtual receptor. Las antenas transmisoras son antenas direccionales log-periódicas de doble polarización, mientras que la antena receptora es una antena omnidireccional de polarización vertical. El sistema automático de medida, descrito en [2], nos permite efectuar medidas de los desvanecimientos espaciales sobre trayectorias lineales de dos metros, tomando muestras de la señal, en el dominio del tiempo a través de un Analizador Vectorial de Señal HP89441A para diferentes separaciones de receptores, que para nuestro caso la hemos fijado en 0.25mm. Transmisión y recepción fueron sincronizados en frecuencia utilizando osciladores disciplinados por GPS.



Figura 2. Escenario de medidas.

La campaña de medidas se llevó a cabo entre dos edificios del campus de la Universidad de Cantabria, como se indica en la figura 2. El edificio de la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) y el edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación (ETSIIT). La distancia de separación entre los dos edificios es de 120m. En la terraza de la planta

superior (+3) del edificio ETSICCP se colocará el array transmisor. El edificio ETSIIT cuenta con ocho plantas (desde -6 a +1). La planta superior (+1), está destinada principalmente a laboratorios equipados con ordenadores, mesas de trabajo, equipo de medida, armarios, etc.

En la planta +1 de ETSIIT se colocó el sistema receptor móvil en 4 diferentes posiciones, como se indica en la figura 3. La posición P1 se localiza junto a una ventana y de frente al array transmisor en una situación de línea de vista (LOS), las restantes posiciones, P2, P3 y P4 están en situación de no línea de vista (NLOS). Para analizar las posiciones relativas entre los arrays, se consideraron dos disposiciones: La primera corresponde a una situación in-line [3], donde el ángulo que forman la línea que une el array transmisor con el array receptor y la línea por la cual se desplaza la antena receptora es de 0° ; y, la segunda corresponde a una situación broadside, cuando dicho ángulo es de 90° .

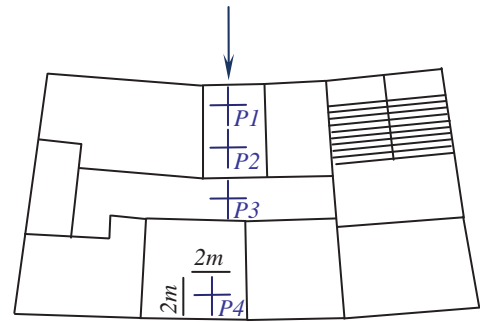


Figura 3. Ubicaciones del array receptor virtual en los interiores de la planta +1 de la ETSIIT de la Universidad de Cantabria.

IV. RESULTADOS

En cada posición de la planta +1 de ETSIIT, se realizaron las medidas de la envolvente de la tensión que llega al array receptor con disposiciones relativas entre los arrays: in-line y broadside. Se realizó un análisis estadístico de las señales medidas para determinar el tipo de función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta a las variaciones de la amplitud de la envolvente de la señal. Siguiendo el método indicado en [4] se encuentra que todas las situaciones siguen una distribución de Rice con un factor $K < 2$, lo que indica que en el entorno de medida predominan los elementos dispersores que hacen que no exista una componente de señal predominante. Físicamente es difícil encontrar el límite entre las señales que siguen una distribución de Rice o una de Rayleigh, En [5] se indica que para valores de $K < 2$ un canal se comporta de manera similar a un canal de Rayleigh. Por lo tanto se puede considerar que nuestro canal es de tipo Rayleigh.

Los coeficientes de correlación medidos presentan un comportamiento variable en función de la distancia de separación entre antenas receptoras, esta variabilidad depende, entre otros factores, de si existe o no línea de vista entre los terminales del canal y de la disposición del array receptor con respecto al transmisor. Para el caso en que tenemos línea de vista, array receptor ubicado junto a la ventana, posición P1, el canal se presenta correlado. En la figura 4 se presenta, para las disposiciones relativas in-line y broadside, el comportamiento de la variación del coeficiente de auto correlación y correlación cruzada que experimentan

los subcanales frente a la distancia de separación Δr entre receptores.

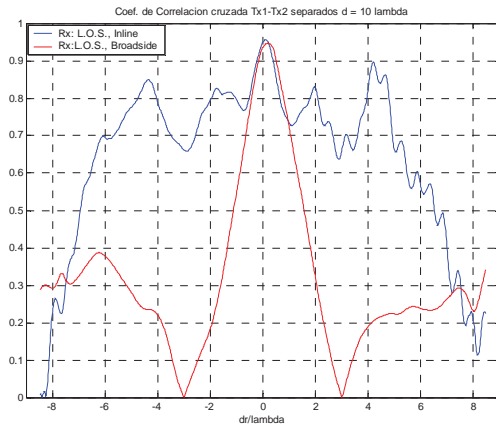


Fig 4. Variación del coeficiente de correlación cruzada en función de la distancia de separación, Δr , entre receptores. Situación LOS.

Se observa que para la situación In-Line el coeficiente de correlación decrece lentamente, y que para conseguir canales decorrelados ($\rho < 0,7$) se necesita separar las antenas receptoras distancias mayores de 6λ . Mientras que, para el caso broadside, el coeficiente de correlación decae con la distancia de manera más rápida, por lo que se necesitarán separaciones menores entre elementos receptores para conseguir canales no correlados. Para esta situación LOS es más conveniente contar con una disposición broadside. A continuación presentamos, a manera de ejemplo, una matriz de coeficientes de correlación que definen el comportamiento del sistema para el caso en que se tiene una separación de antenas transmisoras de 10λ y de antenas receptoras $\Delta r = 0.5\lambda$ y con disposición broadside:

$$R = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.8326 & 0.9362 & 0.9023 \\ 0.8326 & 1.0000 & 0.8177 & 0.9362 \\ 0.9362 & 0.8177 & 1.0000 & 0.8761 \\ 0.9023 & 0.9362 & 0.8761 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

Para las situaciones en las que carecemos de línea de vista, aquellas en las que el receptor se aleja de la ventana (posiciones P2, P3, y P4), el sistema se manifiesta incorrelado. Los coeficiente de auto correlación y correlación cruzada en función de la separación de los elementos receptores presentan valores bajos y con un comportamiento oscilante, figura 5. Se puede decir que los canales están incorrelados a partir de distancias pequeñas de separación entre antenas receptoras, y que el comportamiento de el coeficiente de correlación no se ve muy afectado por la disposición relativa in-line o broadside en que se encuentre el array receptor. De igual manera, se puede generar una matriz de coeficientes de correlación que defina el comportamiento del sistema para el caso en que se tiene una separación de antenas transmisoras de 10λ y de antenas receptoras de $\Delta r = 0.5\lambda$:

$$R = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0296 & 0.4257 & 0.0191 \\ 0.0296 & 1.0000 & 0.0892 & 0.4257 \\ 0.4257 & 0.0892 & 1.0000 & 0.1104 \\ 0.0191 & 0.4257 & 0.1104 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

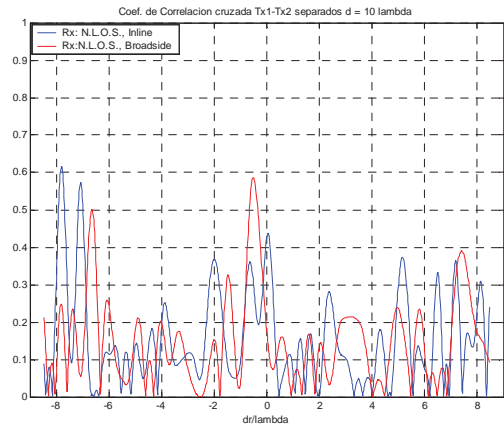


Figura 5.- Variación del coeficiente de correlación cruzada en función de la distancia de separación, Δr , entre receptores. Situación NLOS

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado una campaña de medidas de un sistema MIMO 2x2 en un entorno exterior-interior entre dos edificios de la Universidad de Cantabria separados 120 m, que ha permitido analizar la variabilidad de la correlación en función de la distancia entre elementos receptores a una frecuencia de 2.4GHz. De igual manera se ha verificado la influencia que ejercen las condiciones de visibilidad y de disposición relativa entre arrays.

Para el escenario analizado, en situación de línea de vista, se ha observado que la correlación entre subcanales es alta para distancias pequeñas de separación de las antenas receptoras y que la disposición relativa broadside es más favorable, ya que nos permite obtener canales decorrelados a menor separación de las antenas receptoras.

En cambio para las situaciones de ausencia de línea de vista, se observa un comportamiento diferente de la correlación que permite obtener subcanales decorrelados con pequeñas distancias de separación e independientemente de la disposición relativa entre arrays.

REFERENCIAS

- [1] O. Fernández, M. Domingo, R. P. Torres, "Empirical Analysis of the Correlation of MIMO Channels in Indoor Scenarios at 2GHz", Aceptado para publicación por IEEE Proceedings-Communications., 2004
- [2] S. Loredó, L. Valle, R. P. Torres, "Accuracy Analysis of GO/UTD Radio-Channel Modeling in Indoor Scenarios at 1.8 and 2.5 GHz". IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 43, No.5, pp. 37-51, 2001
- [3] William C, Y. Lee, "Effects on Correlation Between Two Mobile Radio Base-Station Antennas". IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-21, No.11, November 1973.
- [4] S. Loredó, "Modelo de Canal Específico del Entorno para el Análisis y Simulación de Sistemas Vía Radio en Interiores", Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería de Comunicaciones, año 2001.
- [5] J.P. Kermaol, "Measurement, Modelling and Performance Evaluation of the MIMO Radio Channel", Doctor's Thesis, Aalborg University, August 2002.